

1/5/1

DIALOG(R) File 347:JAPIO

(c) 2003 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

06235150 **Image available**

ILLUMINATION DEVICE AND PROJECTION ALINGER USING THE SAME

PUB. NO.: 11-176721 [JP 11176721 A]
PUBLISHED: July 02, 1999 (19990702)
INVENTOR(s): TSUJI TOSHIHIKO
APPLICANT(s): CANON INC
APPL. NO.: 09-361944 [JP 97361944]
FILED: December 10, 1997 (19971210)
INTL CLASS: H01L-021/027

ABSTRACT

PROBLEM TO BE SOLVED: To make illumination distribution uniform, by providing a device with a projection angle storing optical element which projects luminous flux from a light source at a fixed divergent angle and a converging optical system, a diffraction optical element and a relay optical system forming desired illumination distribution, and a zoom optical system which projects illumination distribution at desired magnification and an illumination means.

SOLUTION: A light source such as an extra-high pressure mercury lamp emits ultraviolet ray, etc., and a projection angle storing optical element 2 projects incident luminous flux at a fixed projection angle. A converging optical system 3 converges luminous flux which is projected from the projection angle storing optical element 2 at a projection angle 2a and guides it to a diffraction optical element 4. A relay optical system 41 guides luminous flux from the diffraction optical element 4 to an aperture 42 and forms illumination distributions of various configurations. A zoom optical system 5 projects and images luminous flux from the aperture 42 to an incident surface 7a of a multiple luminous flux generation means 7 such as fly's eye lens and the multiple luminous flux generation means 7 forms a light source image of uniform illumination distribution in a projection surface 7b. An illumination means 8 illuminates a surface 9 to be illuminated such as a reticle, and reduces and projects it on a wafer.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO

?

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

補正あり

(11) 特許出願公開番号

特開平11-176721

(43) 公開日 平成11年(1999)7月2日

(51) IntCl⁶

識別記号

FI

H01L 21/027

H01L 21/30

515D

審査請求 未請求 請求項の数8 FD (全9頁)

(21) 出願番号 特願平9-361944

(22) 出願日 平成9年(1997)12月10日

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 辻 俊彦

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ

ノン株式会社内

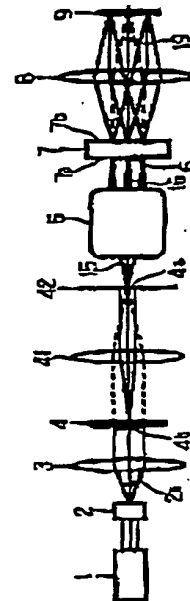
(74) 代理人 弁理士 高梨 幸雄

(54) 【発明の名称】 照明装置及びそれを用いた投影露光装置

(57) 【要約】

【課題】 被照射面を照明光束の有効利用を図りつつ、均一に照明することができ、半導体デバイスの製造に好適な照明装置及びそれを用いた投影露光装置を得ること。

【解決手段】 光源と該光源からの光束を一定の発散角度で射出する射出角度保存光学素子と、該射出角度保存光学素子からの光束を集光する集光光学系と、該集光光学系からの光束を用いて所定面上に所望の照度分布を形成する回折光学素子及びリレー光学系と、該所定面上の照度分布を多光束発生手段の入射面に所望の倍率で投影するズーム光学系、そして該多光束発生手段の射出面からの光束を照射面上に重ね合わせて照射する照明手段とを有していること。



(2)

特開平11-176721

【特許請求の範囲】

【請求項1】 光源と該光源からの光束を一定の発散角度で射出する射出角度保存光学素子と、該射出角度保存光学素子からの光束を集光する集光光学系と、該集光光学系からの光束を用いて所定面上に所望の照度分布を形成する回折光学素子及びリレー光学系と、該所定面上の照度分布を多光束発生手段の入射面に所望の倍率で投影するズーム光学系、そして該多光束発生手段の射出面からの光束を照射面上に重ね合わせて照射する照明手段とを有していることを特徴とする照明装置。

【請求項2】 前記ズーム光学系によって前記所定面からの光束を前記多光束発生手段の入射面へ投影するときの投影倍率の変化に基づいて、発散角度の異なる射出角度保存光学素子に切り替えて、前記多光束発生手段への入射光束の開口数を調整していることを特徴とする請求項1の照明装置。

【請求項3】 前記回折光学素子を複数個有し、これらの中から1つを光路中に選択配置することにより前記多光束発生手段の入射面上における照度分布を変化させていることを特徴とする請求項1の照明装置。

【請求項4】 前記射出角度保存光学素子は複数の微小レンズを2次元的に配列したハエの目レンズより成っていることを特徴とする請求項1の照明装置。

【請求項5】 前記回折光学素子は位相型、又は振幅型の計算機ホログラムより成っていることを特徴とする請求項1の照明装置。

【請求項6】 前記多光束発生手段は複数の微小レンズを2次元的に配列したハエの目レンズより成り、入射光束を多光束に分割して射出させていることを特徴とする請求項1の照明装置。

【請求項7】 請求項1～6のいずれか1項記載の照明装置からの光束によって照明された被照射面上に設けた第1物体面上のパターンを投影光学系により第2物体面上に投影していることを特徴とする投影露光装置。

【請求項8】 請求項1～6のいずれか1項記載の照明装置からの光束によりレチクル面上のパターンを照明し、該パターンを投影光学系によりウエハ面上に投影し、露光した後に該ウエハを現像処理工程を介してデバイスを製造していることを特徴とするデバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は照明装置及びそれを用いた投影露光装置に関し、例えばIC、LSI、CCD、液晶パネル、磁気ヘッド等の各種のデバイスの製造装置である。所謂ステッパーにおいて、照明装置からの真空紫外域の露光光で均一照明したフォトマスクやレチクル等の原版（以下「レチクル」という）上の回路パターンを露光剤を塗布したウエハ面上に投影転写し、デバイスを製造する際に好適なものである。

【0002】

【従来の技術】 半導体素子の製造用の投影露光装置では、照明系からの光束で電子回路パターンを形成したレチクルを照射し、該パターンを投影光学系でウエハ面上に投影露光している。この際、高解像力化を図る為の一要件としてウエハ面上を均一に照射することがある。

【0003】 この種の投影露光装置で用いられる照明装置では、従来より照射面（レチクル面又はウエハ面）を均一に照射するための種々の方法がとられている。例えば、ステッパーと呼ばれる投影露光装置では、コリメータレンズと複数の微小レンズを所定のピッチで配列したオブティカルインテグレータとを組み合わせた照明系を用いて、被照射面を均一に照射している。

【0004】 照明装置に、このようなオブティカルインテグレータを用いることにより、微小レンズの個数に相当するだけの複数の2次光源を形成し、該2次光源からの光束で被照射面を複数の方向から重ねて照明して、照度分布の均一化を図っている。

【0005】 又、この照度分布の均一性を内面反射型のインテグレータと振幅分割型のインテグレータとを用いて向上させた照明装置が、例えば、特開昭64-193号公報や特開平1-295216号公報や特開平1-271718号公報や特開平2-48627号公報等で提案されている。

【0006】 図9は本出願人が先に特願平9-69671号で提案した内面反射型及び振幅分割型の各インテグレータを用いる照明装置の部分的概略図である。

【0007】 同図において、レーザー光源101を発したレーザー光は、レンズ系107により内面反射型インテグレータである光パイプ110の光入射面のわずかな手前一旦収束した後、発散して光パイプ110に、その内面反射面に所定の発散角度を成して入射する。

【0008】 光パイプ110に入射した発散したレーザー光は光パイプ110の内面で反射しながら伝播するので、光パイプ110は光軸と垂直な平面、例えば平面113にレーザー光源101に関する虚像を複数個形成する。

【0009】 光パイプ110の光射出面110'では、複数の虚像即ち見掛け上の複数の光源から恰も射出したかのように見える複数のレーザー光束が重ね合わされる。従って、光パイプ110の光射出面110'には強度分布が均一な面光源が形成される。

【0010】 コンデンサレンズ105と開口絞り111とフィールドレンズ112とにより光パイプ110の光射出面110'と振幅分割型インテグレータであるフライアイレンズ114の光入射面106とが光学的に共役関係になっている。これによって光射出面110'の均一な強度分布の面光源をフライアイレンズ114の光入射面106上に結像して、フライアイレンズ114の光入射面106に断面の強度分布が均一な光を入射してい

る。フライアイレンズ114は、その光射出面に複数の光源（2次光源）を形成し、不図示のコンデンサーレンズ系が複数の光源からの光束を不図示のレチクル上に重ね合わせて該レチクルのパターン全体を均一な光強度で照明している。

【0011】又、レンズ系107によるレーザ光の発散角度及び光パイプ110の長さと幅を考慮して光パイプ110の形状を決定して、各光源から光入射面106の各点に進む個々のレーザ光の光路長さがレーザ光の有するコヒーレンス長以上になるようにしている。これより10時間的コヒーレンスを低下させて、光入射面106上でのスペックルの発生を抑えている。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】最近の超LSI等の高集積化を図った半導体素子の製造には、回路パターンの焼き付けの際に要求される照度分布の均一性に極めて高いものが要求されている。

【0013】図9に示す照明装置において、光パイプの射出面において均一な面光源を形成するためには、発散光束の内面反射回数が多いほどよい。そのためには径を20固定して光パイプの長さを長くすれば良いが、長くすると吸収により透過率が低下してくる。このためにある程度以上の長さにする事ができない。

【0014】即ち、透過率を優先すると長さ不足となり結果的に均一な面光源を得るのが難しくなってくる。

【0015】又、レーザ光源に依存する光束の変動があると被照射面（106）への光束入射角度が変動してくる。そうすると被照射面106での照度ムラが発生してくる。

【0016】本発明は本出願人が先に提案した照明装置30を更に改良し、光束内の光強度分布の均一性を高め、被照射面上の照度分布の均一化を図るとともに、集光効率の向上を図った半導体デバイスの製造装置に好適な照明装置及びそれを用いた投影露光装置の提供を目的とする。

【0017】

【課題を解決するための手段】本発明の照明装置は

（1-1）光源と該光源からの光束を一定の発散角度で射出する射出角度保存光学素子と、該射出角度保存光学素子からの光束を集光する集光光学系と、該集光光学系40からの光束を用いて所定面上に所望の照度分布を形成する回折光学素子及びリレー光学系と、該所定面上の照度分布を多光束発生手段の入射面に所望の倍率で投影するズーム光学系、そして該多光束発生手段の射出面からの光束を照射面上に重ね合わせて照射する照明手段とを有していることを特徴としている。

【0018】特に

（1-1-1）前記ズーム光学系によって前記所定面からの光束を前記多光束発生手段の入射面へ投影するときの投影倍率の変化に基づいて、発散角度の異なる射出角50

度保存光学素子に切り替えて、前記多光束発生手段への入射光束の開口数を調整していること。

【0019】（1-1-2）前記回折光学素子を複数個有し、これらの中から1つを光路中に選択配置することにより前記多光束発生手段の入射面上における照度分布を変化させていること。

【0020】（1-1-3）前記射出角度保存光学素子は複数の微小レンズを2次的に配列したハエの目レンズより成っていること。

【0021】（1-1-4）回折光学素子は位相型、又は振幅型の計算機ホログラムより成っていること。

【0022】（1-1-5）前記多光束発生手段は複数の微小レンズを2次的に配列したハエの目レンズより成り、入射光束を多光束に分割して射出させていること等を特徴としている。

【0023】本発明の投影露光装置は

（2-1）構成（1-1）の照明装置からの光束によって照明された被照射面上に設けた第1物体面上のパターンを投影光学系により第2物体面上に投影していることを特徴としている。

【0024】本発明のデバイスの製造方法は

（3-1）構成（1-1）の照明装置からの光束によりレチクル面上のパターンを照明し、該パターンを投影光学系によりウエハ面上に投影し、露光した後に該ウエハを現像処理工程を介してデバイスを製造していることを特徴としている。

【0025】

【発明の実施の形態】図1は本発明の照明装置の実施形態1の要部概略図である。同図は照明装置を例として半導体素子（デバイス）製造用の、所謂ステッパーと称される縮小型の投影露光装置に適用したときを示している。

【0026】図中、1は紫外線や遠紫外線等を放射する高輝度の超高圧水銀灯やエキシマレーザ等の光源（光源手段）である。

【0027】2は射出角度保存光学素子であり、入射光束を射出角度を一定にして射出している。3是集光光学系であり、射出角度保存光学素子2から所望の射出角度2aで出射した光束を集光して回折光学素子4に導光している。

【0028】41はリレー光学系であり、回折光学素子4からの光束をアパーチャ42に導光している。これによってアパーチャ42上に後述するように種々の形状の照度分布が形成している。尚、リレー光学系41を用いずに回折光学素子4からの光束を直接アパーチャ42に導光して、その面上に所望の照度分布を形成しても良い。

【0029】5はズーム光学系であり、アパーチャ42からの光束をハエの目レンズ等の多光束発生手段7の入射面7aに種々の倍率で投影結像している。多光束発生

(4)

特開平11-176721

手段7はその射出面7bに均一な照度分布の光画像を形成している。8はコンデンサーレンズ等を含む照射手段であり、多光束発生手段7からの光束を集光してマスクあるいはレチクル等（以下「レチクル」という）の被照射面9を照明している。

【0030】被照射面9に配置したレチクルに描かれたパターンを投影光学系（不図示）により感光基板（ウェハ）上に縮小投影している。

【0031】尚、ズーム光学系5、多光束発生手段7、そして照射手段8は光学手段の一要素を構成している。

【0032】次に図1に示した各要素の構成について説明する。

【0033】射出角度保存光学素子2は図2(A)に示すようにアパーチャ（絞り）2.1とレンズ系2.2から構成している。そして入射光束が例えば光束27（光軸27a）から光束28（光軸28a）と光軸と直交する方向に微小変動して入射したとしても、それより射出される光束の射出角度29aが一定となる光学性質をもっている。

【0034】また、射出角度保存光学素子2は図2(B)に示すように、複数の微小レンズ2.3より成るハエの目レンズで構成してもよく、この場合は光束の射出角度29bはハエの目レンズ2.3の形状により決定される。この場合も入射光束の光軸が微小変動して光束27（光軸27a）又は、光束28（光軸28a）の状態で入射したとしても、射出される光束の射出角度29bが一定となっている。

【0035】回折光学素子4は、例えば、入射光束をリレー光学系4.1を介してアパーチャ4.2の位置に円形や輪帯等の所望の照度分布を発生させるようにあらかじめ設計された、計算機ホログラム等から成り、振幅分布型や位相分布型のキノフォーム等を用いている。

【0036】図3(A)、(B)は各々回折光学素子4の説明図である。図3(A)に示す回折光学素子は位相型の計算機ホログラム(Computer Generated Hologram, CGH)を用いた例であり、位相分布を濃淡分布として表現してある。計算機ホログラムとは、物体光と参照光との干渉による干渉縞パターンを計算して描画装置により直接出力することで作られるホログラムである。再生光として所望の照度分布を得るための干渉縞形状はコンピュータによる反復計算を用いて最適化することで容易に求めている。図3(B)に示す回折光学素子は、位相型CGHを用いた例であり、その断面形状の例を模式的に示している。このように断面を階段状とし、その作製に半導体素子の製造技術が適用できるようにして、微細なピッチも比較的容易に実現している。

【0037】ここで回折光学素子4により、アパーチャ4.2の位置に所望の照度分布を発生させるということは、例えば図4(A)に示す円形照度分布、又は図4(B)に示す輪帯照度分布、又は図4(C)に示す四重

極と呼ばれる照度分布等、露光に好的な分布を含む。これらは後述するズーム光学系5により多光束発生光学系7の入射面7aに投影されることで、所望露光装置の照明系における変形照明を達成している。又、これらの異なる照度分布を形成する複数の回折光学素子を、図1には不図示のターレット等の切り替え手段により切り替えることで、照明条件を種々と変更している。

【0038】回折光学素子4に入射した光束は、計算された振幅変調ないしは位相変調を受けて回折し、リレー光学系4.1を介して、アパーチャ4.2の位置に分布内で強度が均一な、図4で示したような所望の照度分布を形成する。ここで回折光学素子4とアパーチャ4.2の位置は、互いにフーリエ変換面の関係になるように配置している。

【0039】次にズーム光学系5の倍率変化について述べる。回折光学素子4により形成される均一な所望の照度分布を持つ射出面4aを、ズーム光学系5により所望の倍率で多光束発生光学系7の入射面7a上へ均一光源像6として投影する。ここでいう所望の倍率とは、被照射面9への照射光束の入射角度19が露光に最適な値になるように均一光源像6の大きさを設定する倍率である。

【0040】さて所望の倍率mに対してズーム光学系5への入射角度15により決まる入射側NAをNA'、射出角度16により決まる射出側NAをNA''とすると、 $NA' = m \cdot NA''$ (1) が成立する。ここで射出角度16の大きさは多光束発生手段7の入射NAを越えない範囲で、できるだけ近い値であることが照明効率の観点から望ましいので、射出角度16の値は多光束発生手段7に依存した最適角度に設定している。従って(1)式により示されるように、ある条件における露光に最適な倍率が決まると、アパーチャ4.2からの射出角度15の最適角度も決まることになる。

【0041】本実施形態では、ズーム光学系5への入射角度15の値は、回折光学素子4へ入射する光束の照射領域4bの大きさに依存しており、その大きさは射出角度保存光学素子2の射出角度2aに依存していることを利用して、射出角度保存光学素子2を照明条件を種々と切り替えることにより、照射領域4bの大きさを変えることにより達成している。これについては図5を用いて後述する。

【0042】多光束発生手段7は複数の微小レンズよりなるハエの目レンズやファイバー束等からなり、その射出面7bは複数の点光源からなる光源面を形成している。尚、本実施形態において多光束発生手段7とは複数の光学軸を有し、且つ、各々の光学軸を中心として有限な面積の領域を有し、各々の領域において各々1つの光束が特定できるような光学素子という。

【0043】多光束発生手段7の入射面7a上に均一光

(5)

特開平11-176721

深像6が投影されると、被照射面の照度分布はそのまま射出面7bに転写される。そして多光束発生手段7の射出面7bの各々の微小領域からの射出光束を、照射手段8により被照射面9上に重畳して照射することで、被照射面9上を全体的に均一な照度分布となるように照明している。

【0044】尚、多光束発生手段7の射出面7bは被照射面9上に配置したレチクル面上のパターンをウエハ面上に投影する投影レンズ（不図示）の入射面と共役となっている。

【0045】次に前述した射出角度保存光学素子2の切り換え制御について図5（A）、（B）を用いて詳細に説明する。各図において、12aは射出角度12aが小さい射出角度保存光学素子であり、12bは射出角度12bが大きい射出角度保存光学素子である。その他については図1で説明したものと同様である。

【0046】一般に半導体デバイス製造装置に使用される照明装置においては、被照射面9に入射する光束の入射角度を所望の角度に設定することが要求される。本実施形態においては射出角度保存光学素子2を複数個、用意し、要求に応じてターレット等の手段を利用してこれを切り替えることにより被照射面への入射角度を所望の角度に設定している。

【0047】図5（A）は、被照射面9に入射する光束の入射角度19aが比較的小さい場合（これを σ 値が小さいと称する）を示している。本実施形態において σ 値を小さくするためには、多光束発生手段7の入射面7a上に、アパーチャ42上に形成されている照度分布4aの像6aを小さい倍率で結像する必要がある。これはズーム光学系5の倍率を変えることにより達成している。前述したように射出角度16aの値は多光束発生手段7に依存した最適角度に設定される。

【0048】従って（1）式により示されるように、所望の σ 値を得るための倍率が決まると、回折光学素子4により形成される照度分布4aに基づいてアパーチャ42から光束の発散角度15aも一意に決まる。発散角度15aは回折光学素子4へ入射する光束の幅4abによって決まるので、これを射出角度保存光学素子12aに切り替えて小さい射出角度12aaとすることで光束幅14abが狭くなるように制御している。

【0049】以上により照明効率が高く、且つ入射角度19aの小さい（すなわち σ 値の小さい）照明を行っている。

【0050】また、図4（B）は上記 σ 値が大きい場合の実施形態を示している。この場合は、射出角度12baが大きい射出角度保存光学素子12bに切り換えることにより、射出角度12baを大きくし、これにより回折光学素子4へ入射する光束の幅14bbを大きくして、回折光学素子4により形成される照度分布4aに基づいてアパーチャ42から発散する光束の角度15bを

大きくする。そして照度分布4aの像6bを大きい倍率で光束混合手段7に投影しても、（1）式の関係から射出角度16bは前述の角度16aとほぼ同じにすることが可能である。以上により照明効率が高く、且つ射出角度19bの大きい（即ち σ 値の大きい）照明を行っている。

【0051】このとき、回折光学素子4から発散される光束の発散角度については図5（A）における角度14aと図5（B）における角度14bは同一であることから、照度分布4aのサイズは射出角度保存光学素子2を切り替えても変化しない。尚、この σ 切り替えに応じて所望の照度分布を得るために、必要ならば回折光学素子4もターレット等の不図示の切り替え手段を用いて、角度保存光学素子2の切替と同時に切り替えても良い。

【0052】又、例えば図2（B）で説明したように、レーザ光源1からの光束が外乱により微小変動したとしても、射出角度保存光学素子2からの光束の射出角度は保存されるので図1における回折光学素子4への入射光束幅4bには変動が無く、多光束発生手段7の微小レンズ51の中の光源像全体をマクロに見たときの変動は殆ど無い。従って、被照射面9上の照度分布への影響も無視できる程度に小さくなる。

【0053】このことは、本発明がレーザ光源からの光束の変動に対して非常に安定した系であるという利点を示している。

【0054】図6は本発明の照明装置を用いた半導体デバイス製造用の投影露光装置の実施形態2の要部概略図である。同図において図1で示した要素と同一要素には同符号を付している。

【0055】同図において91はレーザ光源1からのコヒーレントな光束を所望のビーム形状に整形するための光束整形光学系である。92はコヒーレントなレーザ光束をインコヒーレント化するためのインコヒーレント化光学系である。また、93は露光装置の投影光学系であり、94はウエハ等の感光材を塗布した感光基板である。図1と同じ番号のものについては説明を省略する。

【0056】レーザ光源1から射出された光束は、ミラーやリレーレンズから成る光束引き回し光学系（不図示）を経て、光束整形光学系91に入射される。この光束整形光学系91は、複数のシリンドリカルレンズまたは、ビームエキスパンダにより構成されており、光束断面形状の縦横比率を所望の値に変換している。

【0057】そして光束整形光学系91により整形された光束は、ウエハ面94にて光が干渉してスベクルを生じることを防ぐ目的で、インコヒーレント化光学系92に入射され、インコヒーレントな光束に変換される。

【0058】このインコヒーレント化光学系92としては、例えば特開平3-215930号公報に開示されているように、入射光束を光分割面で少なくとも2つの光束（例えばp偏光とs偏光）に分岐した後、一方の光束

を光学部材を介して光束の可干渉距離以上の光路長差を与えてから該分割面に再導光し、他方の光束に重ね合わせて射出されるようにした折り返し系を用いて複数の互いにインコヒーレントな光束を形成する光学系を用いている。

【0059】そのようにしてインコヒーレント化された光束は射出角度保存光学素子2に入射している。

【0060】以下図1ですでに述べた手順により、多光束発生手段7の各々の微小領域からの射出光束は、照射手段8により被照射面9上のレチクルRに重畳して照射され、被照射面9上は全体的に均一な照度分布となるように照明している。

【0061】そして被照射面9上に形成されたレチクルR面上の回路パターン等の情報を有した光束は、投影光学系93により露光に最適な倍率で感光基板94に投影結像して、回路パターンの露光を行っている。

【0062】上記感光基板は不図示の感光基板ステージに真空吸着などで固定されており、紙面上で上下前後に平行移動する機能を持ち、その移動はやはり不図示のレーザ干渉計等の測長器で制御している。

【0063】次に上記説明した投影露光装置を利用した半導体デバイスの製造方法の実施形態を説明する。

【0064】図7は半導体デバイス（ICやLSI等の半導体チップ、或は液晶パネルやCCD等）の製造のフローを示す。

【0065】ステップ1（回路設計）では半導体デバイスの回路設計を行う。ステップ2（マスク製作）では設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。

【0066】一方、ステップ3（ウエハ製造）ではシリコン等の材料を用いてウエハを製造する。ステップ4（ウエハプロセス）は前行程と呼ばれ、前記用意したマスクとウエハを用いてリソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。

【0067】次のステップ5（組立）は後行程と呼ばれ、ステップ4によって作製されたウエハを用いて半導体チップ化する工程であり、アセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。

【0068】ステップ6（検査）ではステップ5で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行なう。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷（ステップ7）される。

【0069】図8は上記ウエハプロセスの詳細なフローを示す。ステップ11（酸化）ではウエハの表面を酸化させる。ステップ12（CVD）ではウエハ表面に絶縁膜を形成する。

【0070】ステップ13（電極形成）ではウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ14（イオン打ち込み）ではウエハにイオンを打ち込む。ステップ15（レジスト処理）ではウエハに感光剤を塗布する。ステ

ップ16（露光）では前記説明した露光装置によってマスクの回路パターンをウエハに焼付露光する。

【0071】ステップ17（現像）では露光したウエハを現像する。ステップ18（エッチング）では現像したレジスト以外の部分を削り取る。ステップ19（レジスト剥離）ではエッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返すことによりウエハ上に多重に回路パターンが形成される。本実施形態の製造方法を用いれば、従来は製造が難しかった高集積度の半導体デバイスを容易に製造することができる。

【0072】

【発明の効果】本発明によれば以上のように各要素を設定することにより、光束内の光強度分布の均一性を高め、被照射面上の照度分布の均一化を図るとともに、集光効率の向上を図った半導体デバイスの製造装置に好適な照明装置及びそれを用いた投影露光装置を構成することができる。

【0073】特に本発明によれば、被照射面への光束入射角度を所望の値に設定することができる。高効率な均一照明を行なうことができる。レーザ光源に依存する光束の変動があっても被照射面への光束入射角度が安定する。高効率が均一照明ができる。パイプの代わりに硝材製の薄い回折光学素子を用いることで、透明率の低い真空紫外領域においても高効率な照明装置が得られる、等の効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の照明装置の実施形態1の要部概略図

【図2】 実施形態1の一部分の説明図

【図3】 実施形態1の一部分の説明図

【図4】 図1のアーチャー面上の照度分布の説明図

【図5】 実施形態1の一部分を交換したときの説明図

【図6】 本発明の照明装置を用いた投影露光装置の実施形態2の要部概略図

【図7】 本発明のデバイスの製造方法のフローチャート

【図8】 ウエハプロセスのフローチャート

【図9】 本出願人の先の提案による照明装置

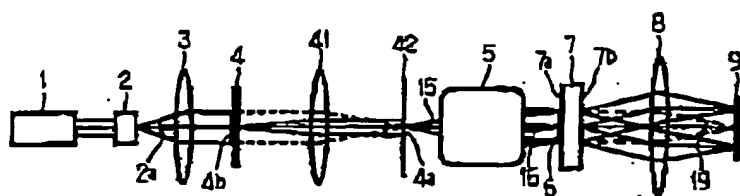
【符号の説明】

- 1：レーザ光源
- 2：射出角度保存光学素子
- 3：集光光学系
- 4：回折光学素子
- 5：ズーム光学系
- 7：多光束発生光学系
- 8：照射手段
- 9：被照射面
- 41：リレー光学系
- 42：アーチャー

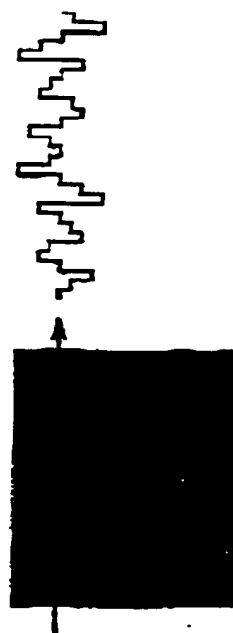
(7)

特開平11-176721

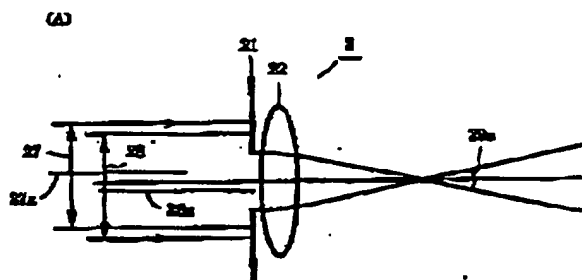
【図1】



【図3】

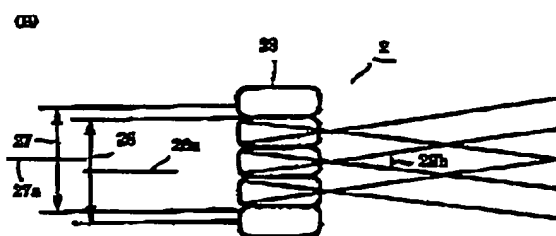


【図2】



(A)

【図4】



(B)



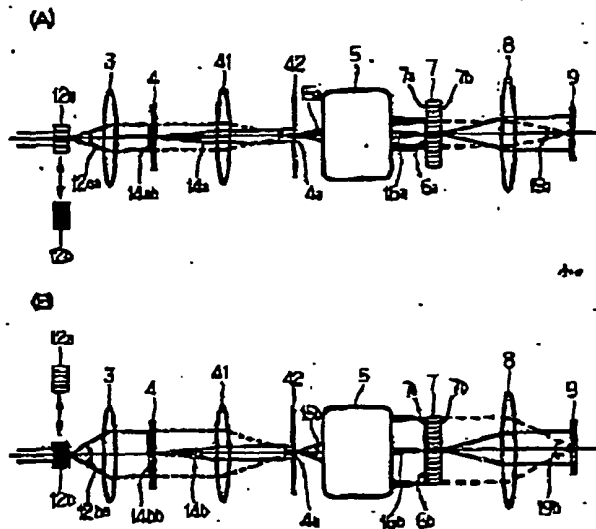
(C)



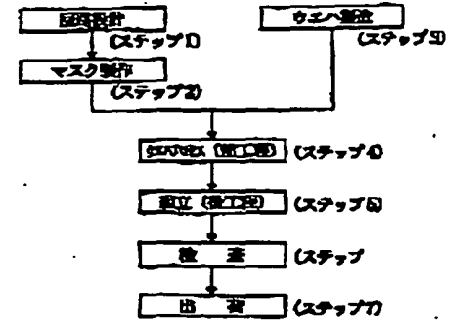
(8)

特開平11-175721

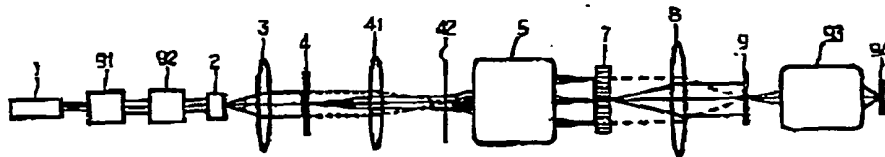
【図5】



【図7】



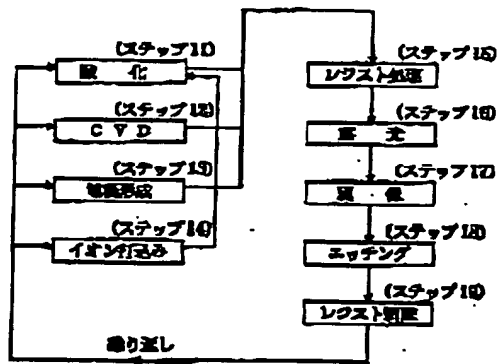
【図6】



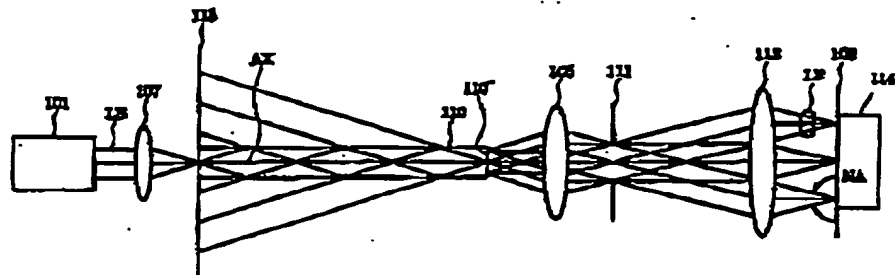
(9)

特開平11-176721

【図8】



【図9】



【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第7部門第2区分

【発行日】平成13年4月20日(2001.4.20)

【公開番号】特開平11-176721

【公開日】平成11年7月2日(1999.7.2)

【年通号数】公開特許公報11-1768

【出願番号】特願平9-361944

【国際特許分類第7版】

H01L 21/027

[F I]

H01L 21/30 515 D

【手続補正書】

【提出日】平成11年7月15日(1999.7.15)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】照明装置及びそれを用いた投影露光装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】光源と、該光源からの光束を一定の発散角度で射出する射出角度保存光学素子と、該射出角度保存光学素子からの光束を集光する集光光学系と、該集光光学系からの光束を用いて所定面上に均一な光強度分布を有する所望の形状の光パターンを形成するための回折光学素子、又はこの回折光学素子及びリレー光学系と、該所定面上の照度分布を多光束発生手段の入射面に所望の倍率で投影するズーム光学系、そして該多光束発生手段の射出面からの光束を照射面上に重ね合わせて照射する照明手段とを有していることを特徴とする照明装置。

【請求項2】前記ズーム光学系によって前記所定面からの光束を前記多光束発生手段の入射面へ投影するときの投影倍率の変化に基づいて、発散角度の異なる射出角度保存光学素子に切り替えて、前記多光束発生手段への入射光束の開口数を調整していることを特徴とする請求項1の照明装置。

【請求項3】前記回折光学素子を複数個有し、該複数個の回折光学素子は互いに形状が異なる光パターンを形成するものであって、これらの中から1つを光路中に選択配置することにより前記多光束発生手段の入射面上における照度分布を変化させていることを特徴とする請求項1の照明装置。

【請求項4】前記射出角度保存光学素子は複数の微小レンズを2次元的に配列したハエの目レンズより成っていることを特徴とする請求項1の照明装置。

【請求項5】前記回折光学素子は位相型又は振幅型の計算機ホログラムより成っていることを特徴とする請求項1の照明装置。

【請求項6】前記多光束発生手段は複数の微小レンズを2次元的に配列したハエの目レンズより成り、入射光束を多光束に分割して射出させていることを特徴とする請求項1の照明装置。

【請求項7】光源からの光で複数の2次光源を形成する第1の光学系；及び前記複数の2次光源の各々からの光束を被照明面に重ねて照射する第2の光学系、とを有する照明装置において、

前記第1の光学系は、

前記複数の2次光源に対応する形状と均一な光強度分布を持つ光パターンを形成する回折光学素子を有することを特徴とする照明装置。

【請求項8】光源からの光で複数の2次光源を形成する第1の光学系；及び前記複数の2次光源の各々からの光束を被照明面に重ねて照射する第2の光学系、とを有する照明装置において、

前記第1の光学系は、

前記複数の2次光源に対応する形状と均一な光強度分布を持つ光パターンを形成するホログラムを有することを特徴とする照明装置。

【請求項9】前記第1光学系はその光出射面に前記複数の2次光源が形成される多光束発生手段を有し、該多光束発生手段の光入射面に前記光パターンが投影されることを特徴とする請求項7又は8の照明装置。

【請求項10】前記光パターンはリレー光学系を介して予め決めた平面に形成されることを特徴とする請求項9の照明装置。

【請求項11】前記平面に形成されている前記光パターンを前記多光束発生手段の光入射面に投影するための光学系を有することを特徴とする請求項10の照明装置。

【請求項12】前記光学系は倍率が可変な結像光学系を備えることを特徴とする請求項11の照明装置。

(11)

特開平11-176721

【請求項1.3】 前記第2光学系は、前記光パターンの形状が互いに異なる複数の前記回折光学素子を有し、該複数の前記回折光学素子の1つが選択的に前記光源からの光の光路中に配されることを特徴とする請求項7の照明装置。

【請求項1.4】 前記第2光学系は、前記光パターンの形状が互いに異なる複数の前記ホログラムを有し、該複数の前記ホログラムの1つが選択的に前記光源からの光の光路中に配されることを特徴とする請求項8の照明装置。

【請求項1.5】 請求項1～1.4のいずれか1項記載の照明装置からの光束によって照明されたレチクルのパターンを被露光基板上に投影していることを特徴とする投影露光装置。

【請求項1.6】 請求項1～1.4のいずれか1項記載の照明装置からの光束によりレチクルのデバイスパターンを照明し、該デバイスパターンをウエハ上に露光し、露光した後に該ウエハを現像処理する工程を用いてデバイスを製造していることを特徴とするデバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は照明装置及びそれを用いた投影露光装置に関し、例えばIC、LSI、CCD、液晶パネル、磁気ヘッド等の各種のデバイスの製造装置である、所謂ステッパーにおいて、照明装置からの紫外線や遠紫外域や真空紫外域の露光光で均一照明したフォトリソマスクやレチクル等の原版（以下「レチクル」という）上の回路パターンを感光剤を塗布したウエハ面上に投影転写し、デバイスを製造する際に好適なものである。

【0002】

【従来の技術】 半導体素子の製造用の投影露光装置では、照明装置からの光束で電子回路パターンを形成したレチクルを照明し、該電子回路パターンを投影光学系でウエハ面上に投影露光している。この際、高解像力化を図るためにレチクル面やウエハ面の照明範囲を照度分布が均一となるように照明することが必要である。

【0003】 例えば、前述のステッパーと呼ばれる投影露光装置では、複数の微小レンズを所定のピッチで配列したオプティカルインテグレートとコリメータレンズとを有する照明装置を用いて、被照明面であるレチクル面やウエハ面に露光光を均一に照射している。

【0004】 照明装置に、このようなオプティカルインテグレートを用いることにより、微小レンズの個数に相当するだけの複数の2次光源を形成し、該各2次光源からの光束で、被照射面を、複数の方向から、重畳的に照明して、照度分布の均一化を図っている。

【0005】 又、内面反射型のインテグレートと、振幅分割型の前述のインテグレートとを用いて照度分布の均

一性を向上させた照明装置が、例えば、特開昭64-183号公報や特開平1-295216号公報や特開平1-271718号公報や特開平2-48627号公報等で提案されている。

【0006】 図9は本出願人が特開平9-69671号で提案した内面反射型及び振幅分割型の各インテグレートを用いる照明装置の部分的概略図である。

【0007】 同図において、レーザー光源101を発したレーザー光は、レンズ系107により内面反射型インテグレートである光パイプ110の光入射面のわずかな手前に一旦収束した後、発散して光パイプ110に、その内面反射面に所定の発散角度を成して入射する。

【0008】 光パイプ110に入射した発散したレーザー光は光パイプ110の内面で反射しながら伝播するので、光パイプ110は光軸と垂直な平面、例えば平面113にレーザー光源101に関する虚像を複数個形成する。

【0009】 光パイプ110の光射出面110'では、複数の虚像即ち見掛け上の複数の光源から恰も射出したかのように見える複数のレーザー光束が重ね合わされる。従って、光パイプ110の光射出面110'には強度分布が均一な面光源が形成される。

【0010】 コンデンサレンズ105と開口絞り111とフィールドレンズ112とを有する光学系により光パイプ110の光射出面110'と振幅分割型インテグレートであるフライアイレンズ114の光入射面106とが光学的に共役関係になっている。これによって光射出面110'の均一な強度分布の面光源をフライアイレンズ114の光入射面106上に結像して、フライアイレンズ114の光入射面106に断面の強度分布が均一な光を入射している。フライアイレンズ114は、その光射出面に複数の光源（2次光源）を形成し、不図示のコンデンサレンズ系が複数の光源からの光束を不図示のレチクル上に重ね合わせて該レチクルのパターン全体を均一な光強度で照明している。尚図9のLFは光学系（105、111、112）の結像光束を示し、NAはこの光学系の光射出側の開口数を示している。

【0011】 又、レンズ系107によるレーザー光の発散角度及び光パイプ110の長さや幅を考慮して光パイプ110の形状を決定して、各光源から光入射面106の各点に進む個々のレーザー光の光路長差がレーザー光の有するコヒーレンス長以上になるようにしている。これより時間的コヒーレンスを低下させて、光入射面106上でのスペックル（干渉縞）の発生を抑えている。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】 最近の超LSI等の高集積化を図った半導体素子の製造には、回路パターンの焼き付けの際に要求される照度分布の均一性に極めて高いものが要求されている。光学系全体の透過率を高めて露光光の光量の減少を小さくすることも求められてい

る。

【0013】しかしながら図9に示す照明装置において、光パイプの射出面において均一な面光源を形成するためには、発散光束の内面反射回数が多いほどよい。そのためは径を固定して光パイプの長さを長くすれば良いが、長くすると吸収により透過率が低下してくる。このためにある程度以上の長さにする事ができない。

【0014】即ち、照度分布の均一性を優先すると透過率が低下してしまい、所望の光量の面光源が得られず、透過率を優先すると長さ不足となり結果的に均一な面光源を得るのが難しくなってくる。

【0015】

【0016】本発明は光学系の透過率をあまり低下させずに光束断面の光強度分布が均一な光パターンを形成できる照明装置及び投影装置の提供を目的とする。

【0017】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明の照明装置は、光源と、該光源からの光束を一定の発散角度で射出する射出角度保存光学素子と、該射出角度保存光学素子からの光束を集光する集光光学系と、該集光光学系からの光束を用いて所定面上に均一な光強度分布を有する所望の形状の光パターンを形成するための回折光学素子、又はこの回折光学素子及びリレー光学系と、該所定面上の照度分布を多光束発生手段の入射面に所望の倍率で投影するズーム光学系、そして該多光束発生手段の射出面からの光束を照射面に重ね合わせて照射する照明手段とを有していることを特徴としている。請求項2の発明は請求項1の発明において、前記ズーム光学系によって前記所定面からの光束を前記多光束発生手段の入射面へ投影するときの投影倍率の変化に基づいて、発散角度の異なる射出角度保存光学素子に切り替えて、前記多光束発生手段への入射光束の開口数を調整していることを特徴としている。請求項3の発明は請求項1の発明において、前記回折光学素子を複数個有し、該複数個の回折光学素子は互いに形状が異なる光パターンを形成するものであって、これらの中から1つを光路中に選択配置することにより前記多光束発生手段の入射面上における照度分布を変化させていることを特徴としている。請求項4の発明は請求項1の発明において、前記射出角度保存光学素子は複数の微小レンズを2次元的に配列したハエの目レンズより成っていることを特徴としている。請求項5の発明は請求項1の発明において、前記回折光学素子は位相型又は振幅型の、計算機プログラムより成っていることを特徴としている。請求項6の発明は請求項1の発明において、前記多光束発生手段は複数の微小レンズを2次元的に配列したハエの目レンズより成り、入射光束を多光束に分割して射出させていることを特徴としている。請求項7の発明の照明装置は、光源からの光で複数の2次光源を形成する第1の光学系；及び前記複数の2次光源の各々からの光束を被照明面に重ねて照射

する第2の光学系、とを有する照明装置において、前記第1の光学系は、前記複数の2次光源に対応する形状と均一な光強度分布とを持つ光パターンを形成する回折光学素子を有することを特徴としている。請求項8の発明の照明装置は、光源からの光で複数の2次光源を形成する第1の光学系；及び前記複数の2次光源の各々からの光束を被照明面に重ねて照射する第2の光学系、とを有する照明装置において、前記第1の光学系は、前記複数の2次光源に対応する形状と均一な光強度分布とを持つ光パターンを形成するホログラムを有することを特徴としている。請求項9の発明は請求項7又は8の発明において、前記第1光学系はその光出射面に前記複数の2次光源が形成される多光束発生手段を有し、該多光束発生手段の光入射面に前記光パターンが投影されることを特徴としている。請求項10の発明は請求項9の発明において、前記光パターンはリレー光学系を介して予め決めた平面上に形成されることを特徴としている。請求項11の発明は請求項10の発明において、前記平面上に形成されている前記光パターンを前記多光束発生手段の光入射面に投影するための光学系を有することを特徴としている。請求項12の発明は請求項11の発明において、前記光学系は倍率が可変な結像光学系を備えることを特徴としている。請求項13の発明は請求項7の発明において、前記第2光学系は、前記光パターンの形状が互いに異なる複数の前記回折光学素子を有し、該複数の前記回折光学素子の1つが選択的に前記光源からの光の光路中に配されることを特徴としている。請求項14の発明は請求項8の発明において、前記第2光学系は、前記光パターンの形状が互いに異なる複数の前記ホログラムを有し、該複数の前記ホログラムの1つが選択的に前記光源からの光の光路中に配されることを特徴としている。請求項15の発明の投影露光装置は、請求項1～14のいずれか1項記載の照明装置からの光束によって照明されたレチクルのパターンを被露光基板に投影していることを特徴としている。請求項16の発明のデバイスの製造方法は、請求項1～14のいずれか1項記載の照明装置からの光束によりレチクルのデバイスパターンを照明し、該デバイスパターンをウエハ上に露光し、露光した後該ウエハを現像処理する工程を用いてデバイスを製造していることを特徴としている。本発明の他の形態の照明装置は、光源からの光で複数の2次光源を形成する第1の光学系と前記複数の2次光源の各々からの光束を被照明面に重ねて照射する第2の光学系とを有し、前記第1の光学系は、前記複数の2次光源の全体の形状に対応する形状と均一な光強度分布とを持つ光パターンを形成する、計算機プログラムのような回折光学素子を有することを特徴としている。

【0018】

【0019】

【0020】

【0021】
【0022】
【0023】
【0024】
【0025】

【発明の実施の形態】図1は本発明の照明装置の実施形態1の要部概略図である。同図は照明装置を例として半導体素子（デバイス）製造用の、所謂ステッパーと称される縮小型の投影露光装置に適用したときを示している。

【0026】図中、1は紫外線や遠紫外線等を放射する高輝度の超高圧水銀灯やエキシマレーザ等の光源である。

【0027】2は射出角度保存光学素子であり、入射光束を射出角度を一定にして射出している。3は集光光学系であり、射出角度保存光学素子2から所望の射出角度2aで出射した光束を集光して回折光学素子4に導光している。

【0028】41はリレー光学系であり、回折光学素子4からの光束を視野絞りであるアパーチャ42に導光している。これによってアパーチャ42上に後述するように所望の形状の光パターンが所望の照度分布で形成される。尚、リレー光学系41を用いずに回折光学素子4からの光束を直接アパーチャ42に導光して、その面上に所望形状の照度分布の光パターンを形成しても良い。

【0029】5はズーム光学系であり、アパーチャ42からの光束で、アパーチャ42上の光パターンをハエの目レンズ等の多光束発生手段7の光入射面7aに種々の倍率で投影して結像できる。多光束発生手段7はその光射出面7bに均一な照度分布の前述の光パターンの像に対応した形状の光源像6を形成している。8はコンデンサーレンズ等を含む照射手段であり、多光束発生手段7からの光束を集光してマスクあるいはレチクル等（以下「レチクル」という）の被照射面9を照明している。集光光学系3から多光束発生手段7に至る各要素は第1の光学系を構成し、コンデンサーレンズ8は第2の光学系を構成している。

【0030】被照射面9に配置したレチクルに描かれたパターンは投影光学系（不図示）により感光基板であるウエハ上に縮小投影される。

【0031】

【0032】次に図1に示した各要素の構成について説明する。

【0033】射出角度保存光学素子2は図2（A）に示すようにアパーチャ（絞り）21とレンズ系22から構成されている。そして入射光束が例えば光束27（光軸27a）から光束28（光軸28a）と光軸と直交する方向に微小変位して入射したとしても、素子2より射出される光束の射出角度29aが変化せず、いつも一定となる光学性質をもっている。

【0034】また、射出角度保存光学素子2は図2

（B）に示すように、複数の微小レンズ23より成るハエの目レンズで構成してもよく、この場合は光束の射出角度29bはハエの目レンズ23の形状により決定される。この場合も入射光束の光軸が微小変動して光束27（光軸27a）から、光束28（光軸28a）の状態に変化して入射したとしても、射出される光束の射出角度29bが変化せず、いつも一定となっている。

【0035】回折光学素子4は、例えば、入射光束をリレー光学系41を介してアパーチャ42の位置に円形や輪帯等の、所望の照度分布の光パターンを発生させるようにあらかじめ設計された、計算機ホログラム等から成り、振幅分布型や位相分布型のキノフォーム等を用いている。

【0036】図3（A）、（B）は各々回折光学素子4の説明図である。図3（A）に示す回折光学素子は位相型の計算機ホログラム（Computer Generated Hologram, CGH）を用いた例であり、位相分布を濃淡分布として表現してある。計算機ホログラムとは、物体光と参照光との干渉で得られるものである干渉縞パターンを計算により求めてその結果を描画装置により直接出力することで作られるホログラムである。再生光として所望の照度分布を得るための干渉縞形状はコンピュータによる反復計算を用いて最適化することで容易に求まる。図3（B）に示す回折光学素子は、位相型CGHを用いた例であり、その断面形状の例を模式的に示している。このように断面を階段状とし、その作製に半導体素子の製造技術が適用できるようにして、微細なピッチの凹凸をもつ素子の製造も比較的容易に実現している。

【0037】ここで回折光学素子4によりアパーチャ42の位置に発生させる所望の照度分布の光パターンには、例えば図4（A）に示す円形、又は図4（B）に示す輪帯、又は図4（C）に示す四重極と呼ばれるパターン等、各種レチクルを用いた露光に好適な分布を含む。これらは後述するズーム光学系5により多光束発生光学系7の入射面7aに所望のサイズで投影される。又、これらの互いに異なる光パターンを形成する複数の回折光学素子を、図1の装置では、不図示のターレット等の切り替え手段によりとり付けておいて切り替えることで照明条件を種々と変更している。

【0038】回折光学素子4に入射した光束は、予定された振幅変調ないしは位相変調を受けて回折し、リレー光学系41を介して、アパーチャ42の位置にパターン内で強度が均一な、図4で示したような所望の形状の光パターンを形成する。ここで回折光学素子4とアパーチャ42の位置は、互いにフーリエ変換面の関係になるように配置している。

【0039】次にズーム光学系5の倍率変化について述べる。回折光学素子4により形成される均一な光強度分布を持つ光パターン4aを、ズーム光学系5により所望

の倍率で多光束発生光学系7の光入射面7a上へ均一な照度分布の光源像6として投影する。ここでいう所望の倍率とは、被照射面9への照射光束の入射角度19が露光に最適な値になる大きさの均一光源像6を設定する倍率である。

【0040】さて所望の倍率mに対してズーム光学系5への入射角度15により決まる入射側開口数を NA' 、射出角度16により決まる射出側開口数を NA'' とすると、 $NA'' = m \cdot NA'$ (1) が成立する。

ここで射出角度16の大きさは、多光束発生手段7の入射側開口数を越えない範囲で、できるだけ近い値であることが照明効率の観点から望ましいので、射出角度16の値は多光束発生手段7に依存した最適角度に設定している。従って(1)式により示されるように、ある条件における露光に最適な倍率が決まると、アパーチャ42からの射出角度15の最適角度も決まることになる。

【0041】本実施形態では、ズーム光学系への入射角度15の値は、回折光学素子4へ入射する光束の照射領域4bの大きさに依存しており、その大きさは射出角度保存光学素子2の射出角度2aに依存していることを利用して、射出角度保存光学素子2を照明条件を種々と切り替えることにより、照射領域4bの大きさを変えることにより達成している。これについては図5を用いて後述する。

【0042】多光束発生手段7は複数の微小レンズよりなるハエの目レンズやファイバー束等からなり、その光射出面7bに複数の点光源(2次光源)からなる面光源6を形成している。尚、本実施形態において多光束発生手段7とは、複数の光学軸を有し、且つ、各々の光学軸を中心として有限な面積の小領域を有し、各々の領域において各々1つの光束が特定できるような光学素子をいう。この種の素子には例えば、フライアイレンズがある。

【0043】多光束発生手段7の光入射面7a上に均一な光強度分布を有する光源像6が投影されると、該入射面の照度分布はそのまま光射出面7bに転写されそこにも同じ光源(像)6が形成される。そして多光束発生手段7の射出面7bの各々の小領域(例えばレンズエレメント)からの射出光束を、照射手段8により被照射面9上に重畳して照射することで、被照射面9上を全体的に均一な照度分布となるように照明している。

【0044】尚、多光束発生手段7の光射出面7bは被照射面9上に載置したレチクル面上のパターンをウエハ面上に投影する投影レンズ(不図示)の入射瞳と共役となっている。

【0045】次に前述した射出角度保存光学素子2の切り換え制御について図5(A)、(B)を用いて詳細に説明する。各図において、12aは射出角度12aaが小さい射出角度保存光学素子であり、12bは射出角度12baが大きい射出角度保存光学素子である。その他50

については図1で説明したものと同様である。

【0046】一般に半導体デバイス製造装置に使用される照明装置においては、被照射面9に入射する光束の入射角度を所望の角度に設定することが要求される。本実施形態においては射出角度保存光学素子2を複数個、用意し、ターレット等の手段を利用してこれを切り替えることにより被照射面9への入射角度を所望の角度に設定している。

【0047】図5(A)は、被照射面9に入射する光束の入射角度19aが比較的小さい場合(これを σ 値が小さいと称する)を示している。本実施形態において σ 値を小さくするためには、多光束発生手段7の入射面7a上に、アパーチャ42上に形成されている光パターン4aの像6aを小さい倍率で結像する必要がある。これはズーム光学系5の倍率を変えることにより達成している。前述したように射出角度16aの値は多光束発生手段7に依存した最適角度に設定される。

【0048】従って(1)式により示されるように、所望の σ 値を得るための倍率が決まると、回折光学素子4により形成される光パターン4aに基づいてアパーチャ42から光束の発散角度15aも一意に決まる。発散角度15aは回折光学素子4へ入射する光束の幅4abによって決まるので、これを射出角度保存光学素子12aに切り替えて小さい射出角度12aaとすることで光束幅14abが狭くなるように制御している。

【0049】以上により照明効率が高く、且つ入射角度19aの小さい(すなわち σ 値の小さい)照明を行っている。

【0050】また、図5(B)は入射角度19bの大きい(すなわち σ 値が大きい)場合の実施形態を示している。この場合は、射出角度12baが大きな射出角度保存光学素子12bに切り換えることにより、射出角度12baを大きくし、これにより回折光学素子4へ入射する光束の幅14bbを大きくして、回折光学素子4により形成される光パターン4aに基づいてアパーチャ42から発散する光束の角度15bを大きくする。そして光パターン4aの像6bを大きい倍率で多光束発生手段7に投影しても、(1)式の関係から射出角度16bは前述の角度16aとほぼ同じにすることが可能である。以上により照明効率が高く、且つ射出角度19bの大きい(即ち σ 値の大きい)照明を行っている。

【0051】このとき、回折光学素子4から発散される光束の発散角度については図5(A)における角度14aと図5(B)における角度14bは同一であることから、光パターン4aのサイズは射出角度保存光学素子2を切り替えても変化しない。尚、この σ 値の切り替えに応じて、必要ならば回折光学素子4もターレット等の不図示の切り替え手段を用いて、角度保存光学素子12a、bの切り替と同時に切り替えても良い。

【0052】又、例えば図2(B)で説明したように、

レーザ光源1からの光束が、外乱により微小変位したとしても、射出角度保存光学素子2からの光束の射出角度は保存されるので図1における回折光学素子4への入射光束の幅4bには変動が無く、多光束発生手段7の微小レンズ51の中的光源像全体をマクロに見たときの変動は殆ど無い。従って、被照射面9上での照度分布への影響も無視できる程度に小さくなる。

【0053】このことは、本発明がレーザ光源からの光束の変動に対して非常に安定した系であるという利点を示している。

【0054】図6は本発明の照明装置を用いた半導体デバイス製造用の投影露光装置の実施形態2の要部概略図である。同図において図1で示した要素と同一要素には同符号を付している。

【0055】同図において91はレーザ光源1からのコヒーレントな光束を所望のビーム形状に整形するための光束整形光学系である。92はコヒーレントなレーザ光束をインコヒーレント化するためのインコヒーレント化光学系である。また、93は露光装置の投影光学系であり、94はウエハ等の、感光材を塗布した感光基板である。図1と同じ番号のものについては説明を省略する。

【0056】レーザ光源1から射出された光束は、ミラーやリレーレンズから成る光束引き回し光学系（不図示）を経て、光束整形光学系91に入射される。この光束整形光学系91は、複数のシリンドリカルレンズまたは、ビームエキスパンダにより構成されており、光束断面形状の縦横比率を所望の値に変換している。

【0057】そして光束整形光学系91により整形された光束は、ウエハ面94にて光が干渉してスベクルを生じることを防ぐ目的で、インコヒーレント化光学系92に入射され、インコヒーレントな光束に変換される。

【0058】このインコヒーレント化光学系92としては、例えば特開平3-215930号公報に開示されているように、入射光束を光分割面で少なくとも2つの光束（例えばp偏光とs偏光）に分岐した後、一方の光束を光学部材を介して光束の可干渉距離以上の光路長差を与えてから該分割面に再導光し、他方の光束に重ね合わせて射出されるようにした折り返し系を用いて複数の互いにインコヒーレントな光束を形成する光学系を用いている。

【0059】そのようにしてインコヒーレント化された光束は射出角度保存光学素子2に入射している。

【0060】以下図1ですでに述べた手順により、多光束発生手段7の各々の微小領域からの射出光束は、照射手段8により被照射面9上のレチクルRに重畳して照射され、被照射面9上は全体的に均一な照度分布となるように照明している。

【0061】そして被照射面9上に形成されたレチクルR面上の回路パターン等の情報を有した光束は、投影光学系93により露光に最適な倍率で感光基板94に回路

パターンを投影結像して、回路パターンの露光を行っている。

【0062】上記感光基板は不図示の感光基板ステージに真空吸着などで固定されており、紙面の上下前後左右に平行移動する機構を持ち、その移動はやはり不図示のレーザ干渉計等の測長器で制御している。

【0063】次に上記説明した投影露光装置を利用した半導体デバイスの製造方法の実施形態を説明する。

【0064】図7は半導体デバイス（ICやLSI等の半導体チップ、或は液晶パネルやCCD感光ヘッド等）の製造のフローを示す。

【0065】ステップ1（回路設計）では半導体デバイスの回路設計を行う。ステップ2（マスク製作）では設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。

【0066】一方、ステップ3（ウエハ製造）ではシリコン等の材料を用いてウエハを製造する。ステップ4（ウエハプロセス）は前行程と呼ばれ、前記用意したマスクとウエハを用いてリソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。

【0067】次のステップ5（組立）は後行程と呼ばれ、ステップ4によって作製されたウエハを用いて半導体チップ化する工程であり、アッセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。

【0068】ステップ6（検査）ではステップ5で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行なう。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷（ステップ7）される。

【0069】図8は上記ウエハプロセスの詳細なフローを示す。ステップ11（酸化）ではウエハの表面を酸化させる。ステップ12（CVD）ではウエハ表面に絶縁膜を形成する。

【0070】ステップ13（電極形成）ではウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ14（イオン打ち込み）ではウエハにイオンを打ち込む。ステップ15（レジスト処理）ではウエハに感光剤を塗布する。

ステップ16（露光）では前記説明した露光装置によってマスクの回路パターンをウエハに焼付露光する。

【0071】ステップ17（現像）では露光したウエハを現像する。ステップ18（エッチング）では現像したレジスト以外の部分を削り取る。ステップ19（レジスト剥離）ではエッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返し行なうことによってウエハ上に多重に回路パターンが形成される。本実施形態の製造方法を用いれば、従来は製造が難しかった高集積度の半導体デバイスを容易に製造することができ、

【0072】

【発明の効果】本発明によれば、光束内の光強度分布の均一性を高めることで、被照射面上の照度分布の均一化

を図るとともに、集光効率の向上を図った半導体デバイスの製造装置に好適な照明装置及びそれを用いた投影露光装置を提供できた。

【0078】これはパイプ（内面反射型インテグレート）の代わりに、硝材厚の薄い、均一な光強度分布を有し、且つ所望の形状の光パターンを生成し得る回折光学素子を用いることで、達成している。従って真空紫外領域においても高効率な照明装置が得られる、等の効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

- 【図1】 本発明の照明装置の実施形態1の要部概略図
 【図2】 実施形態1の一部分の説明図
 【図3】 実施形態1の一部分の説明図
 【図4】 図1のアパーチャ面上の照度分布の説明図
 【図5】 実施形態1の一部分を交換したときの説明図
 【図6】 本発明の照明装置を用いた投影露光装置の実

施形態2の要部概略図

【図7】 本発明のデバイスの製造方法のフローチャート

【図8】 ウエハプロセスのフローチャート

【図9】 本出願人の先の提案による照明装置

【符号の説明】

1：レーザ光源

2：射出角度保存光学素子

3：集光光学系

4：回折光学素子

5：ズーム光学系

7：多光束発生光学系

8：照射手段

9：被照射面

41：リレー光学系

42：アパーチャ